

水利电力部干部学校教材
电力工业生产知识

发电厂化学水处理

水利电力部干部学校电力教研室編

中国工业出版社

水利电力部干部学校教材
电力工业生产知识

发电厂化学水处理

水利电力部干部学校电力教研室編

本书用简单通俗的文字，讲述火力发电厂水处理工作中水垢的生成和防止、热力设备的腐蚀和防止、蒸汽品质的改善以及电厂水处理的技术管理等。

本书主要作火力发电厂干部培训教材用，同时也可供火力发电厂水处理工作人员阅读。

水利电力部干部学校教材
电力工业生产知识
发电厂化学水处理
水利电力部干部学校电力教研室编

水利电力部办公厅图书编辑部编辑（北京阜成门内大街）

中国工业出版社出版（北京修门内大街10号）

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $1 \frac{5}{16}$ · 字数 25,000

1964年9月北京第一版·1964年9月北京第一次印刷

印数 0001—8,140·定价（科四）0.20元

统一书号：K15165·679（水电-102）

序 言

本教材是我校火力发电生产专业班专用教材，共分六册，它們是：鍋炉、汽輪机、发电厂电气部分、继电保护和自动化、电力网以及发电厂化学水处理。

本教材是在总结該班历年来教学經驗的基础上，全面地探討了过去使用的教材、讲义，平衡了教材內容的深度和广度，并广泛征求了业务单位的意見以后定稿的。

考虑到干部学习的特点，尽量使教材內容結合生产实际，突出重点，照顾全面，文字叙述力求簡明易懂，既便于讲授，又便于自修。

由于編写者水平有限，加以缺乏写作經驗，教材中疏漏謬誤之处在所难免，希望讀者給予批評指正。

水利电力部干部学校电力教研室

一九六三年七月

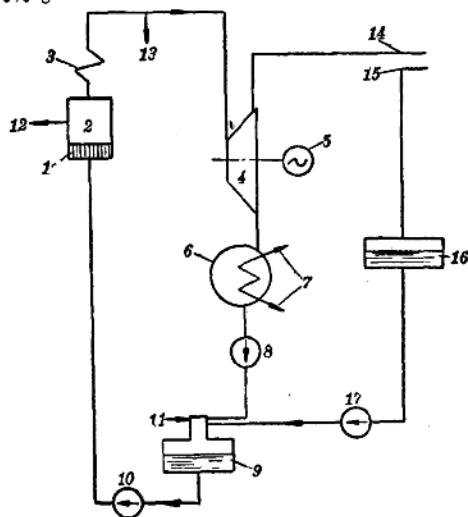
目 录

序言

緒論	1
第一章 水垢的形成及其防止	2
第1节 天然水中的杂质及水质指标	2
第2节 水垢的形成	5
第3节 炉外水处理	5
第4节 炉内水处理	13
第5节 循环水处理	14
第二章 热力设备的腐蚀和防止	15
第1节 热力设备腐蚀的基本概念	15
第2节 氧化铁垢的腐蚀	18
第3节 晶间腐蚀(即謂苛性脆化)	19
第4节 设备停用时的腐蚀	20
第5节 腐蚀的防止	20
第三章 蒸汽污染及蒸汽品质的改善	25
第1节 蒸汽污染的原因	25
第2节 蒸汽品质的改善	27
第四章 水处理的技术管理	31
第1节 有关規程制度	31
第2节 表报	32
第3节 檢查和檢修	33
第4节 經濟核算	34
第5节 培訓工作	34
第6节 資料的积累	35

緒論

火力发电厂的主要工质是水。热力设备运行过程的实质就是水-汽不断循环的过程如图所示。在运行中由于锅炉的排污、排汽以及系统不严密产生的漏泄等都能使水、汽损失。为了维持设备连续运行，必须不断补充足够数量符合要求的水。



汽-水循环过程

1—省煤器；2—锅炉；3—蒸汽过热器；4—汽轮机；5—发电机；6—凝汽器；7—冷却水进、出口；8—凝结水泵；9—加热式除氧器；10—给水泵；11—补给水泵；12—锅炉排污管；13—蒸汽轮这时的漏损；14—供热主管；15—供热回收水管；16—集水箱；17—凝结水泵。

如果补充的水不合格,含有較多的杂质,就会引起金屬

受热面上的結垢、設備的腐蝕以及蒸汽品質的不良。因此，火力发电厂的水处理及汽、水品质监督管理是一项极重要的工作。本书是讲述火力发电厂水处理工作中的以下几个問題：

1. 水中含有哪些杂质？水质指标是什么？
2. 水垢是怎样产生的，如何防止？
3. 热力設備产生腐蝕的原因及防止热力設備腐蝕的方法；
4. 蒸汽品质不良的原因及改善蒸汽品质的方法；
5. 水处理的技术管理。

第一章 水垢的形成及其防止

第1节 天然水中的杂质及水质指标

火力发电厂使用的水源，多为河水、井水等。这些水中除含有悬浮的泥砂外，还含有一些可溶性物质和气体。例如鈣、鎂的重碳酸盐、硫酸盐、氯化物和鈉盐、硅酸盐、氧气和二氧化碳等。这些杂质在送入鍋炉前若不加以清除，或清除的不好，都能使金屬受热面結垢，設備产生腐蝕以及由于蒸汽品质不良使过热器、汽輪机通流部分結有盐垢，从而造成运行中的障碍，降低經濟效率，甚至造成停机。因此，在“电力工业技术管理法規”（下面簡称“法規”）第344条內对水处理及化学监督工作有明确的要求。

电厂用水中所含杂质的成分及其数量可用水质指标来表示。一般常用指标如下：

一、悬浮物含量（透明度） 悬浮物是指水中由于水的

流动而呈悬浮状态存在的粗大分散物质。悬浮物含量多少，是用一升水中所含悬浮物的毫克数表示，即毫克/升。实际生产中常用透明度表示，其方法有两种。一种是鉛字法，即将一定尺寸的印刷鉛字放在水层下面，透过水层仍能清楚看出該鉛字时，水层的高度即为該水的透明度。另一种是将一毫米直径的十字綫置于玻璃筒底部白色磁盘上，向筒中注水，透过水层仍能看清十字綫的水层厚度(厘米)即表示透明度，此法称为十字法。

二、含盐量 表示溶于水中全部盐类的总含量，它以毫克/升来表示。

三、硬度 硬度是水质的一项重要指标。水中鈣、鎂的总含量称为水的硬度，它以一升水中含有鈣、鎂的毫克当量或微克当量来表示。即毫克当量/升或微克当量/升。

硬度分为全硬度、碳酸盐硬度、非碳酸盐硬度等。

碳酸盐硬度：是由水中含有的重碳酸鈣、重碳酸鎂所組成。由于这些盐类，在水沸騰时就会从溶液中沉淀出来，所以又叫做暂时硬度(簡称暫硬)。

非碳酸盐硬度：是由水中含有鈣、鎂的氯化物、硫酸盐、硅酸盐等所組成。这些盐类当水沸騰时并不能从溶液中沉淀出来，所以又叫做永久硬度(簡称永硬)。

全硬度：就是暂时硬度与永久硬度之和；

$$\text{全硬度} = \text{暂时硬度} + \text{永久硬度}$$

硬度不大的水通常称为軟水；硬度大的水称为硬水。硬水中的鈣、鎂是形成水垢的主要物质。因此，有时称鈣、鎂为結垢物质。

四、碱度 是指一升水中所含碱性物质的多少。

由于水中所含碱性物质的不同，碱度可分为：

氢氧根碱度:由溶于水中的金属氢氧化物(如氢氧化钠等)所形成。它以每升水中含有氢氧根(OH^-)的毫克当量或微克当量表示。即毫克当量/升或微克当量/升。

碳酸盐碱度:由溶于水中的碳酸盐(如碳酸钠)所形成。它以每升水中含有碳酸根(CO_3^{2-})的毫克当量或微克当量表示。即毫克当量/升或微克当量/升。

重碳酸盐碱度:由溶于水中的重碳酸盐(如重碳酸钙等)所形成。它以每升水中含有重碳酸根(HCO_3^-)的毫克当量或微克当量表示。即毫克当量/升或微克当量/升。

全碱度:氢氧根碱度、碳酸盐碱度、重碳酸盐碱度的总和,称为全碱度。

五、耗氧量 耗氧量是用来表示水中有机物相对含量的指标。水中有机物含量愈大,在测定时,所消耗的高锰酸钾愈多。耗氧量常以每升水中用去的高锰酸钾的毫克数或高锰酸钾中含氧的毫克数表示。即毫克/升。

六、pH 值 pH 值是表示水酸碱性的指标:

pH 值	<5.5	强酸性
pH 值	5.5~6.5	弱酸性
pH 值	6.5~7.5	中 性
pH 值	8.0~10	弱碱性
pH 值	>10	强碱性

七、含氧量 表示水中溶解氧的多少,它以每升水中含有氧气的毫克数或微克数表示。即毫克/升或微克/升。

八、硅酸根含量 表示水中含有硅酸根的多少,它以每升水中所含硅酸根的毫克数表示。即毫克/升。

九、铁、铜含量 表示水中含有铁、铜的多少,它以每升水中所含铁、铜的毫克数表示。即毫克/升。

第2节 水垢的形成

形成水垢的主要原因是水中含有鈣、鎂、鋁的盐类以及其他化合物在一定条件下沉淀的結果。由于水受热不断蒸发,盐类逐渐濃縮,致使一些盐类从水中沉淀出来;其次由于水的溫度升高有些鈣盐能够从水中析出;另外由于在加热蒸发的过程中水中有些物质发生化学反应,結果产生了难溶物质,从水中析出。

在炉水沉淀物中一部分沉淀物附着在金屬受热面上形成坚硬如石的水垢;另一部分沉淀物則不附着在受热面上,是在水中呈悬浮状态或松軟的泥状物,这部分物质称为水渣。水渣可用排污方法除掉,水垢則不易清除。

水垢比金屬的导热能力小几百倍,因此会造成热量損失,浪费大量燃料;更严重的是由于金屬局部过热造成设备的毁坏或人身事故。

第3节 炉外水处理

为了防止水垢的生成,必須除掉水中的悬浮物、鈣和鎂的化合物以及溶于水中的其他杂质,保证供給鍋炉或蒸发器用的水(把这种称为給水)合乎“法規”第347条中的規定,即:要求自然循环鍋炉的給水中鈣、鎂和銅、铁等含量一般应符合下列标准:

鍋炉工作压力 (表压)	≤59	60~89	≥90
硬 度	<20 微克当量/升	<10 微克当量/升	<5 微克当量/升
水 质	澄		清
含 铁 量	<50 微克当量/升	<30 微克当量/升	
含 銅 量	<30 微克当量/升	<10 微克当量/升	

欲使給水达到上述标准，必須將天然水在未进鍋炉以前把水中杂质清除，这部分工作称为炉外水处理。

炉外水处理，一般可分为两个过程：水在澄清器和过滤器內的净化过程（除去大顆粒的机械杂质）和水在軟化器內的軟化过程（即除掉水中大量的鈣、鎂，从而把硬水变为軟水的过程）。

一、水在澄清器和过滤器內的净化过程

1. 澄清器內 含有悬浮物、鈣、鎂、胶状物质以及其他杂质的水，首先进入澄清器。在澄清器中，大顆粒的悬浮物由于重力作用而产生沉淀，从水中分离出来；微小悬浮物、胶状物质等不易沉下，为使这一部分杂质也能从水中分离出来，可以向水中加入凝聚剂，凝聚剂是一种化学药品，它能使悬浮物、胶状物质等結合成絮状物质，然后在重力作用下从水中沉淀出来。

凝聚剂可按水质情况选用。石灰处理的水（pH 值較大），可采用硫酸亚铁；如果采用其他方法处理的水，并 pH 值在 4.0~8.0 的範圍內，可用硫酸鋁。

向澄清器內加入石灰（氧化鈣），能够除掉水中的暫硬。因为石灰与重碳酸鈣作用生成碳酸鈣沉淀，与鎂盐作用生成氢氧化鎂沉淀。

在高压电厂中，不允許給水含有大量的硅酸盐，因此在高压电厂中，除了向澄清器內加入硫酸亚铁、石灰外，还需要加入菱苦土（或白云粉）。加入菱苦土（或白云粉）的目的，是用其中的氧化鎂降低水中的硅酸根。經驗指出，氧化鎂除硅的結果，可使水中的硅酸根降低到 0.7~1.0 毫克/升的效果。

澄清器的結構如图 1-1 所示。

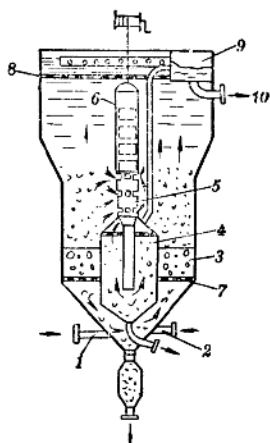


图 1-1 澄清器

- 1—被处理水引入管；2—药剂引入管；3—竖立的缓冲孔板；
4—沉渣器；5—沉渣器吸入管；6—活动套管；7—水平的缓冲孔板；8—清水缓冲孔板。

当澄清器运行时，水和药剂按切线方向进入澄清器下部，在这部分水流旋涡很强，使药剂和水充分混合进行反应。在往上装有水平的和直立的缓和旋流的缓冲孔板，水向上流过孔板后即变为缓慢上升的水流进入中心部分，在此逐渐形成絮状悬浮的沉渣并形成渣层，这种泥渣层对水起过滤作用，水中分散很细的物质经过渣层变为大颗粒物质沉淀下来。澄清水继续上升同时流速进一步减小使沉淀物更易下沉。澄清水达到最上部时由环形清水槽引出送至清水箱。水中沉淀泥渣进入沉渣器依靠排污办法除掉。

2. 过滤器内 澄清器出来的水，由于水的上升，总会使水带有部分的悬浮物。因此，澄清水还要经过过滤器。过

滤器内有滤料组成的过滤层, 滤料可用无烟煤, 也可用白云石或石英砂。水通过滤层时, 悬浮的杂质就留在滤层内, 过滤后的水就成为清水了。

电厂常见的过滤器有如图 1-2 所示的单流式过滤器和如图 1-3 所示的双流式过滤器。

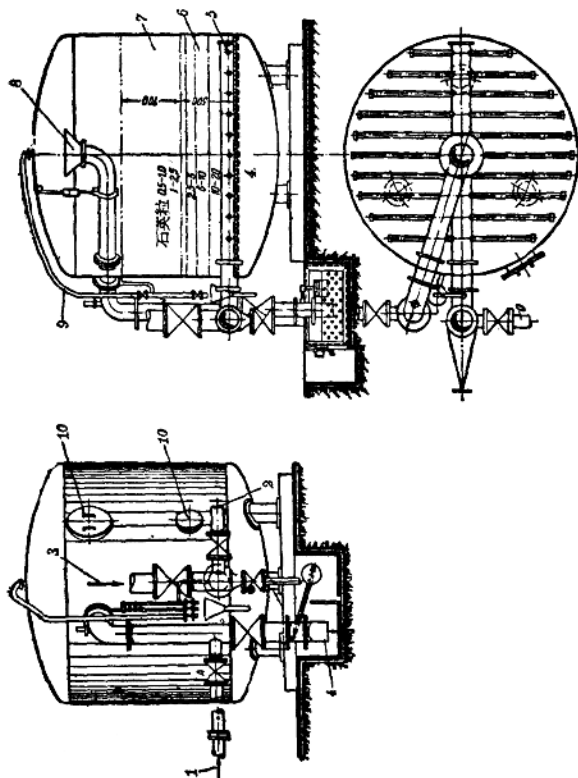


图 1-2 普通单流式过滤器

1—原水入口; 2—澄清水出口; 3—清水入口; 4—混凝土底;
5—集水管排水装置; 6—送入压缩空气的管系统; 7—过滤砂粒层表面;
8—进水漏斗; 9—排气管; 10—检修用人孔。

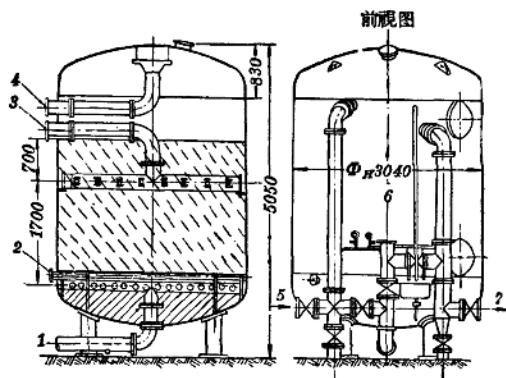


图 1-3 双流过滤器

- 1—原水和清洗水进出口； 2—压缩空气进出口； 3—清水引出和进出口；
4—原水进入和清水引出口； 5—原水进出口； 6—清洗水进出口；
7—清水引出口。

在单流式过滤器内滤层的上部有较大的空间，并装设有进水漏斗，下部在混凝土表面装设集水排管疏水装置，水自漏斗流入过滤器，经过滤层由集水管系统流出。

随着过滤器的运行小时数增加，过滤器的滤层内悬浮杂质就逐渐增多，阻力逐渐增大（可从过滤器入口与出口之间的压差看出），当阻力达到一定时过滤器应停止运行，进行清洗。

清洗时，是使清水由过滤器下部集水管进入，经过滤层上升，并冲动滤料使其悬浮起来，此时颗粒在清洗水中游动，相互碰撞，粘污的杂质即被清洗水洗掉，并随水上升由上部排出。过滤器的清洗工作一直进行到清洗水透明为止。

双流式过滤器在运行时，水是由上部和下部同时送入

过滤器，经过过滤后由滤层中的中间集水管引出。

双流式过滤器在清洗时，先清洗上部，然后清洗下部，以保证良好的清洗效果。

二、水的软化 水的软化法，目前主要采用阳离子交换法。这种方法是在软化器内装有一种不溶于水的固体物质

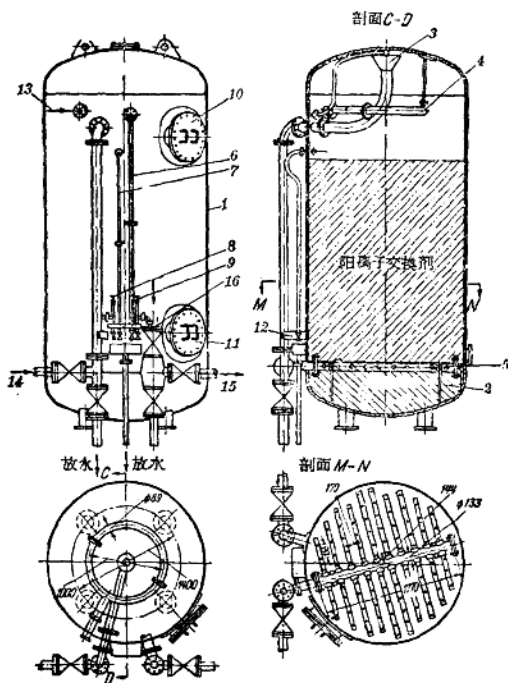


图 1-4 阳离子交换软化器

- 1—外壳；2—混凝土底；3—配水漏斗；4—食盐溶液分配装置；
5—下部排水系统；6—放气管；7—监视管；8、9—压力表；
10、11—人孔；12—手孔；13—还原液进口；14—原水进口；
15—软水出口；16—反洗水进口。

(阳离子交换剂)，它能吸收鈣、鎂离子，本身放出鈉离子(或氫离子)，从而使硬水变为軟水。

发电厂常用的离子交换剂为磺化煤。把磺化煤装入軟化器內，清水由上部流入，經過交换剂层变为軟水后由下部流出，如图 1-4 所示。

軟化器运行一定時間后，阳离子交换剂中的鈉离子(或氫离子)几乎全部被鈣、鎂离子所代替，此时交换剂失去了离子交换能力，出口水的硬度超出了水质标准，即所謂失效。为恢复交换剂原有的交换能力，应进行还原。

还原之前应进行反洗，反洗时先打开图 1-5 的閘門 2，水从下部流入軟化器。再慢慢打开閘門 5，使水从頂部放入地沟。反洗时应随时取出水样观察，当出来的水澄清时即可停止，然后进行还原。

进行还原时，将濃度为 5~10% 的食盐水打入反洗过的軟化器內。首先把閘門 8 打开，食盐液从上部流入交换剂层，浸泡 20~30 分钟后，打开閘門 4，将廢盐液放出。

还原后还需要正洗，正洗的目的是把充滿在交换剂顆粒孔隙中的盐液和还原产物洗掉。清水經閘門

1 自上而下通过交换剂层，并将初期正洗水經閘門 4 放入地沟，当正洗水較为洁淨时，可开閘門 2 关閘門 4，将清洗水回收至反洗水箱，作为下次反洗用水。当正洗排出水的硬度合乎給水标准，含氯量不超过清水相应指标 30~50 毫

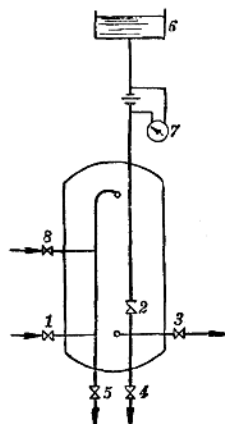


图 1-5 軟化器运行系統
1、2、3、4、5、8—閘門；6—反洗水箱；7—流量計。

克/升时，清洗即可停止，然后投入运行。清水由閘門 1 送入，軟水自閘門 3 排出。

三、炉外水处理系統 目前发电厂中常用的炉外水处理系統有下列几种：

1. 在高压电厂中常采用石灰鈣化—凝聚—鎂剂除硅兩級鈉离子交換，如图 1-6 所示。

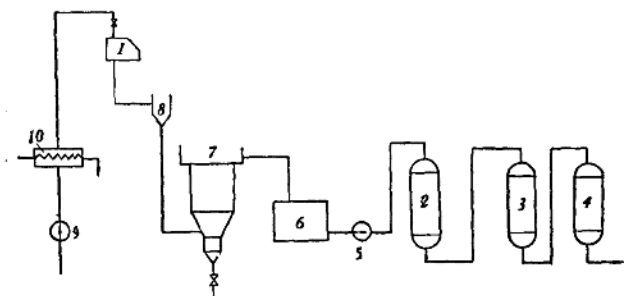


图 1-6 水处理系統图

1—配水器；2—机械过滤器；3—I 級鈉离子軟化器；4—II 級鈉离子軟化器；
5—水泵；6—清水箱；7—澄清器；8—空气分离器；9—水泵；10—面式加热器。

2. 在中压电厂中可以采用石灰鈣化—凝聚兩級鈉离子交換。这一系統与前一种相似其不同在于这一系統沒有进行除硅。

3. 联合作用系統，即氢—鈉离子交換系統，这一系統与前两种不同之处是把鈉离子交換軟化与氢离子交換軟化串列或并列运行，其运行方式如图 1-7a, b 所示。

上述三种系統中較为普遍的是第一、二种。

此外，在高压和超高压电厂中为提高給水品质往往采用离子交換法处理后，再使水通过蒸发器以蒸餾水作为鍋炉补充水。